NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

ET

AGRICOLES

DE

Ch. Eugène RISLER.



PARIS,
GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1898

TITRES ET TRAVAUX.

1848-1849. Élève externe à l'École d'Agriculture de Grignon.

1849-1850. Élève à l'École d'Agriculture de Hohenheim (Würtemberg).

1850-1851. Élève à l'École d'Agriculture de Regenwalde (Prusse).

1851-1852. Préparateur au laboratoire de Recherches de l'Institut agronomique de Versailles.

1857. Agriculteur à Calèves, près Nyon (Suisse).

1876. Professeur d'Agriculture comparée à l'Institut agronomique.

1877. Professeur d'Économie rurale à l'École Centrale des Arts et Manufactures.

1879. Directeur de l'Institut agronomique.

1879. Membre du Conseil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

1880. Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique.
Membre du Conseil supérieur de l'Agriculture.
Membre de la Société nationale d'Agriculture.

1889. Président du Jury de la Classe 49 à l'Exposition universelle.

1896. Président de la Société nationale d'Agriculture.

1898. Président du Comité d'admission de la Classe 5 à l'Exposition universelle de 1900.

LISTE CHRONOLOGIQUE
DES TRAVAUX ET PUBLICATIONS.

Matières solubles des terres fertiles (en commun avec M. Verdeil). (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1852.)

Note sur les propriétés de l'extrait de terre végétale. (Insérée dans les Appendices des *Principes d'Agronomie* du comte de Gasparin.)

L'agriculture anglaise et le libre-échange. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1854.)

La culture des lupins en Allemagne et leur emploi comme engrais verts. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1855.)

Comptes rendus des expériences de MM. Lawes et Gilbert à Rothamstedt. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1855.)

Expériences du colonel Mac-Dowal sur l'addition des farineux et des tourteaux aux turneps dans la nourriture du bétail. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1855.)

Irrigations faites, dans le nord de l'Allemagne, par M. Vincent. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1855.)

Traduction des *Principes de Chimie agricole* de Liebig. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1855.)

Comment agit le drainage. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1855.)

Les engrais liquides. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1857.)

Mémoire sur l'humus. (*Archives des Sciences physiques et naturelles*, Genève, 1859.)

Sur le rôle du fer dans la nutrition des plantes. (*Archives des Sciences physiques et naturelles*, Genève, 1859.)

La petite culture et l'association agricole en Suisse. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1859.)

De l'influence que la distance des marchés exerce sur les systèmes de culture.

(*Bulletin de la Classe d'Agriculture de la Société des Arts de Genève*, 1860.)

Études sur l'Économie rurale de l'Allemagne. (*Revue germanique*, Paris, 1861.)

De l'enseignement agricole en Allemagne. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1862.)

Histoire des théories agronomiques. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1862.)

Rapport sur les influences économiques des chemins de fer en Suisse et en France. (*Mémoires de la Société suisse d'utilité publique*, 1864.)

Amélioration et culture du domaine de Calèves, près de Nyon, canton de Vaud (Suisse). (*Bulletin de la Classe d'Agriculture de la Société des Arts de Genève*, 1865.)

L'hiver de 1867 à 1868. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1868.)

La doctrine agricole de M. Georges Ville. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1868.)

Expériences sur la culture des pommes de terre. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1868.)

De la température du sol et de son influence sur la végétation. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1869.)

Sur l'évaporation du sol et des plantes. (*Archives des Sciences physiques et naturelles*, Genève, 1er Mémoire, 1869, et 2e Mémoire, 1870.)

Expériences sur l'emploi des engrais chimiques, faites à Calèves de 1867 à 1870. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1870.)

Utilité des Cartes géologiques pour l'Agriculture. (*Archives des Sciences physiques et naturelles*, 1872.)

Comptes rendus des travaux faits au laboratoire de Calèves. (*Journal de la Société d'Agriculture de la Suisse romande*, 1872 et 1873.)

De la durée de l'action des engrais, d'après un Mémoire de M. Lawes. (*Journal d'Agriculture pratique*, 1874.)

Expériences sur l'emploi des engrais chimiques à la culture des pommes de terre et du blé, de 1872 à 1874. (*Journal de la Société d'Agriculture de la Suisse romande* et *Journal d'Agriculture pratique*, 1875.)

Troisième Mémoire sur l'évaporation du sol et des plantes. (*Archives des Sciences physiques et naturelles*, Genève, 1872.)

Rapport sur l'arrachage et le traitement des vignes phylloxérées de Pregny, adressé au Conseil d'État de Genève. (1875.)

Études sur le sol arable. (*Journal de la Société d'Agriculture de la Suisse romande*, 1874.)

Analyse des eaux du Pont-de-Pierre. Rapport adressé à la Municipalité de Lausanne, 1875. (En commun avec M. E. Kopp.)

Sur la végétation du blé. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1882.)

Météorologie agricole. Observations faites à Calèves sur la végétation de la vigne. (*Annales de l'Institut agronomique*, 1883.)

Rapport à M. le Ministre de l'Agriculture sur la situation agricole du département de l'Aisne. (Imprimerie nationale, 1884.)

La crise agricole en France et en Angleterre. (*Revue des Deux-Mondes*, 1885.)

Physiologie et culture du blé. Chez Hachette et Cie.
Première édition, 1885.
Deuxième édition, 1887.

Dans quelles limites l'analyse chimique des terres peut-elle servir à déterminer les engrais dont elles ont besoin (en commun avec M. Colomb-Pradel)? (*Annales de l'Institut agronomique*, 1887.)

Géologie agricole. Chez Berger-Levrault et Cie, Nancy et Paris.
Premier volume, 1884.
Deuxième volume, 1889.
Troisième volume, 1895.
Quatrième volume, 1897.
Deuxième édition du premier volume, 1898.

Le drainage rationnel des terres (en commun avec M. G. Wéry). (*Revue générale des Sciences*, 1893.)

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

ET

AGRICOLES

DE

CH. EUGÈNE RISLER.

I.

CHIMIE AGRICOLE.

1. Matières solubles des terres fertiles.
(En collaboration avec M. Verdeil.)
Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 1852.

Note sur les propriétés de l'extrait de terre végétale.
Principes d'Agronomie, par le comte de Gasparin, page 371.

Le comte de Gasparin, directeur de l'Institut agronomique de Versailles, nous avait chargé de faire l'analyse des terres des trois fermes qui dépendaient de cette école et il nous avait recommandé de commencer par déterminer les parties solubles dans l'eau que renfer-

maient ces terres. Le principal résultat de ce travail a été de montrer qu'il existe, dans les terres fertiles, des substances organiques solubles dans l'eau, substances qui contribuent à déterminer la dissolution des matières minérales, particulièrement du phosphate de chaux, de l'oxyde de fer, etc. et de les préparer ainsi pour l'assimilation par les plantes.

2. L'humus.

Archives des Sciences physiques et naturelles, Genève, 1857.

J'ai continué en 1857 ces recherches sur l'humus soluble des terres arables et j'ai montré que, non seulement il favorise la dissolution de certaines substances minérales, mais qu'il peut être absorbé par les plantes et leur fournir une partie de leur carbone.

3. Analyse chimique des terres.

Détermination des engrais complémentaires dont elles ont besoin.

Après que Boussingault eut montré, dans ses belles recherches sur la végétation, que le salpêtre associé au phosphate de chaux et à des engrais alcalins agit comme un engrais complet et peut, comme le guano du Pérou, remplacer le fumier de ferme, MM. Lawes et Gilbert ont prouvé, dans leurs champs d'expérience de Rothamstedt, en Angleterre, que cette substitution des engrais chimiques au fumier de ferme peut être continuée pendant de longues années sans amener une diminution dans les récoltes, sans *user le terrain,* comme le craignaient les vieux praticiens. A la suite de mes voyages en Angleterre, j'ai fait connaître, en France, les expériences de Rothamstedt (*Journal d'Agriculture pratique,* 1855).

Mais MM. Lawes et Gilbert avaient fait presque toutes ces expériences dans le même sol et leurs premiers imitateurs, en France, ont spécialisé les engrais beaucoup plus d'après les plantes que d'après les terres auxquelles ils étaient destinés. On avait des engrais spéciaux pour la vigne, ou les prairies, ou les céréales, mais on n'avait pas d'engrais spéciaux pour les terres de diverses natures, par exemple pour les terres pauvres en potasse, mais riches en acide phosphorique,

ou pour les terres pauvres en acide phosphorique, mais riches en potasse ou en azote. Pour être sûr de donner *assez*, on donnait *tout* ce qu'une récolte doit trouver dans le sol; c'étaient toujours et partout des engrais *complets*, mais ces engrais coûtaient quelques centaines de francs par hectare. En se bornant à ajouter aux terres ce qu'elles ne renferment pas déjà en proportion suffisante, on peut diminuer cette dépense et la réduire de moitié, quelquefois encore plus.

Mais comment savoir quels sont les engrais chimiques qu'il faudrait employer dans telle terre ou telle autre? Évidemment, la manière la plus sûre de savoir si une terre a besoin de phosphate, de potasse ou d'azote, c'est d'y essayer des engrais qui en contiennent, de faire en quelque sorte l'analyse du sol par les engrais eux-mêmes, d'interroger, comme on l'a dit, les plantes sur ce dont elles ont besoin. Mais ces plantes, ces champs d'expérience ne donnent de réponse qu'au bout d'une année; quelquefois même il faut attendre plusieurs années avant d'être exactement renseigné sur ces besoins, parce que la grêle, le gel, les insectes, les oiseaux, etc. sont venus diminuer les récoltes et fausser les résultats des expériences, tandis que l'analyse chimique des terres pourra donner d'avance, en quelques jours, et sans grande dépense, des indications précieuses sur les engrais qu'il y a lieu d'essayer dans un certain sol et qui probablement y donneront de bons résultats.

Pour cela, il faut employer des méthodes d'analyse dont l'exécution n'exige ni trop de temps, ni trop de dépense, en attaquant les terres par l'acide chlorhydrique ou l'acide nitrique plus ou moins concentrés. On dissout ainsi (et surtout si l'on opère à une température élevée) des quantités de matières minérales qui dépassent de beaucoup celles que les récoltes peuvent y puiser. Mais n'est-il pas possible de trouver un rapport entre la quantité immédiatement assimilable par les plantes qu'il faudrait connaître et la quantité fournie par les méthodes analytiques trop énergiques que l'on peut seules employer, rapport assez fixe et assez constant pour que nous puissions, en quelque sorte, deviner de quoi se compose cette partie disponible, d'après ce que nous avons trouvé et dosé dans nos dissolutions?

Ce sont ces rapports que Paul de Gasparin a cherché à fixer dans

son *Traité de la détermination des terres arables dans le laboratoire;* il a fait, toujours par la même méthode, de nombreuses analyses de terres, et puis, en comparant les chiffres obtenus par ses analyses, avec les faits que l'expérience des cultivateurs avait constatés pour ces terres, il a pu arriver à établir pour l'acide phosphorique et la potasse deux limites, l'une supérieure, au-dessus de laquelle une addition de ces engrais est inutile, et l'autre inférieure, au-dessous de laquelle cette addition est indispensable.

J'ai employé les méthodes de Paul de Gasparin pour l'analyse des principales terres des cantons de Vaud et de Genève, en Suisse, et j'en ai vérifié les conclusions par mes champs d'expérience et la pratique de ma ferme (voir *Recherches sur le sol arable,* par E. Risler, Lausanne, 1875, et *Description géologique du canton de Genève,* par A. Favre, 1879). Mais j'ai montré que, pour certaines plantes, par exemple pour la pomme de terre et la vigne, il faut plus de potasse que pour le blé.

A l'Institut agronomique, j'ai continué ces études en collaboration avec mon préparateur, M. Colomb-Pradel, et nous avons cherché à fixer pour l'azote, comme pour la potasse et l'acide phosphorique, les limites dans lesquelles son dosage peut varier.

Comme ces dosages s'appliquent à la terre fine, c'est-à-dire, à celle qui peut traverser un tamis métallique à mailles carrées, contenant dix fils de laiton par centimètre, et non pas à la terre telle qu'on la trouve dans les champs, avec les pierres, les cailloux et les sables grossiers qui y sont mêlés, nous avons cru devoir diminuer les chiffres obtenus par l'analyse de la terre fine proportionnellement à la quantité de ces matières inertes.

Nous avons fait ainsi l'analyse d'un grand nombre de terres provenant de toutes les régions de la France et nous avons proposé, pour l'interprétation de leurs résultats, des chiffres qui ont été adoptés par le Comité consultatif des stations agronomiques et par M. A. Müntz dans l'exposé magistral des méthodes d'analyse qu'il a rédigé au nom de ce Comité.

Nous considérons 1 pour 1000 d'azote, d'acide phosphorique ou de potasse attaquable par l'acide nitrique comme des quantités moyennes. Quand une terre les contient, autrement dit quand elle est naturelle-

ment *complète,* on pourra se borner à lui appliquer le principe de la *restitution,* c'est-à-dire lui rendre ce que les récoltes lui ont pris. Dans un assolement où les fourrages s'équilibrent bien avec les céréales et les racines, il suffit pour cela d'employer dans sa ferme tout le fumier qui s'y produit. Mais, si l'assolement est plus épuisant, si une partie des fourrages et des pailles est *exportée,* vendue, il faudra restituer au sol, par des engrais chimiques, la potasse, l'acide phosphorique et l'azote dans la proportion où ces éléments ont été exportés.

Si le sol est *incomplet,* s'il contient moins de 1 pour 1000 d'azote, d'acide phosphorique ou de potasse attaquable par l'acide nitrique, le fumier, image de ce sol, sera incomplet comme lui et il ne pourra fournir de bonnes récoltes que si l'on commence par le compléter, en lui donnant, sous forme d'engrais chimiques, les éléments qui y font défaut.

Pour l'azote, il ne faut pas se baser seulement sur le stock total que la terre en renferme, mais il importe de tenir compte de la facilité plus ou moins grande avec laquelle cet azote peut se nitrifier, c'est-à-dire devenir assimilable par les plantes. Cela dépend de la quantité de calcaire que contient le sol et en même temps de ses propriétés physiques, de sa perméabilité, etc.

Le sous-sol a toujours une grande influence sur l'état physique de la couche arable. Suivant que cette dernière est plus ou moins profonde, suivant qu'elle repose sur un fond plus ou moins pénétrable aux racines, à l'air et à l'eau, elle sera plus ou moins fertile, avec les mêmes dosages en azote, acide phosphorique et potasse.

On verra plus loin comment toutes ces propriétés physiques et, dans certaines limites, la composition chimique des terres varient avec les formations géologiques auxquelles elles appartiennent, et souvent l'étude géologique de ces terres permettra de dire d'avance quels sont à la fois les engrais chimiques et les améliorations physiques dont elles ont besoin pour devenir plus productives.

II.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES TERRES ARABLES.

1. Perfectionnement des systèmes de drainage.

J'ai cherché à démontrer par une petite expérience que j'ai décrite en 1855 dans le *Journal d'Agriculture pratique* et qui a été reproduite souvent (par Barral, dans son *Traité de drainage*, par Hervé Mangon, dans son *Cours du Conservatoire des Arts et Métiers*, etc.) que la terre humide se dessèche d'autant plus vite que l'on tend à produire au-dessous d'elle une différence de pression plus grande entre l'air des drains et l'air à la surface du champ.

Cette différence de pression s'ajoute au poids de l'eau pour la faire descendre dans les drains et l'eau est remplacée par l'air extérieur, en sorte que le drainage contribue à l'aération de la couche drainée.

Dans la propriété de Calèves que j'ai achetée en 1857, j'ai drainé successivement plus de 60 hectares d'argiles glaciaires à sous-sol imperméable et j'ai commencé par y suivre les règles données dans tous les Traités de drainage publiés jusqu'à présent en Angleterre et en France, règles qui consistent à tracer des drains parallèles suivant la plus grande pente du terrain, c'est-à-dire perpendiculairement aux courbes de niveau, et les *collecteurs* transversalement à ces drains parallèles dont ils doivent réunir et emmener les eaux. Mais, comme ces collecteurs avaient une pente plus faible que les drains, les eaux ralentissaient leur vitesse en y entrant et il se formait aux points de jonction des dépôts de sables fins et d'argile qui peu à peu les obstruaient.

Je reconnus ainsi qu'il fallait disposer les drains et les collecteurs de manière que les eaux y conservent toujours leur vitesse initiale et même en acquièrent autant que possible une plus grande en passant des premiers dans les seconds. Pour cela, il fallait, contrairement à

ce qui avait été fait jusqu'alors, tracer les collecteurs suivant la plus grande pente du terrain et les petits drains en diagonale. Depuis que j'ai suivi ce système, je n'ai plus eu d'obstructions, mes drains se nettoient par eux-mêmes et deviennent d'année en année plus efficaces. Les collecteurs agissent comme des trompes qui tendent constamment à faire le vide au-dessus d'elles (Note présentée à la Société nationale d'Agriculture dans sa séance du 26 mars 1890 et description du *Drainage rationnel des Terres,* publiée en collaboration avec M. G. Wéry, dans la *Revue générale des Sciences,* en décembre 1893).

2. Évaporation du sol.

Archives des Sciences de la Bibliothèque universelle de Genève, 1869 et 1870, et Annales de l'Institut agronomique, 1884.

Pour déterminer la proportion des eaux de pluie qui, après être tombées sur la terre s'évaporent sur place, c'est-à-dire retournent à l'atmosphère, soit directement par l'évaporation qui se fait à la surface du sol, soit en traversant les végétaux qui couvrent cette surface, j'ai jaugé ou fait jauger pendant dix années, jour par jour, le débit des drains correspondant à un champ de 12300^{mq}, presque horizontal et situé à la partie culminante d'un plateau d'argile glaciaire et j'ai comparé ce débit des drains avec la quantité de pluie tombée sur cette même surface; la différence entre ces deux chiffres donne la quantité d'eau évaporée.

	Pluie ou neige tombée.	Eau écoulée par les drains.	Eau évaporée.	
	mm	mm	mm	pour 100
1867	1066,68	277,72	788,81	74
1868	1031,86	216,86	815,37	78
1869	814,77	125,48	689,28	84
1870	853,43	323,04	530,39	62
1871	756,94	141,70	615,24	81
1872	1206,21	417,23	788,98	65
1873	824,92	150,20	674,72	81
1874	765,51	115,74	649,77	84
1875	1020,15	334,02	686,13	67
1876	1107,27	379,71	727,56	65
Moyennes	944,77	248,17	696,60	74

En février, l'évaporation n'a atteint, en moyenne, que 25 pour 100 de la pluie ou neige tombée. Quelquefois, la quantité d'eau écoulée par les drains en janvier ou février surpasse la quantité de pluie ou neige tombée pendant les mois correspondants. Cela provient de ce que la neige, accumulée pendant le mois précédent, se fond.

Voici la répartition moyenne des pluies ou neiges et de l'évaporation dans les douze mois de l'année :

	Pluie ou neige.	Eau écoulée par les drains.	Eau évaporée.	
	mm	mm	mm	pour 100.
Janvier	69,07	34,85	34,21	49,5
Février	54,62	40,60	14,02	25,6
Mars	84,49	45,42	39,06	46,2
Avril	75,97	15,47	60,50	78,3
Mai	69,46	68,02	62,66	90,2
Juin	80,98	0,79	80,19	99,1
Juillet	72,46	0,79	71,66	98,8
Août	83,25	1,43	81,82	98,2
Septembre	72,94	0,30	72,62	99,5
Octobre	113,36	21,90	91,45	80,6
Novembre	98,81	38,45	60,35	61,0
Décembre	79,31	41,27	38,04	47,9

Ces chiffres, comprenant à la fois l'évaporation directe du sol et la transpiration des plantes qui s'y alimentent, nous donnent une limite supérieure de la quantité d'eau que les récoltes peuvent transpirer, limite dont la réalité s'approche d'autant plus que les plantes couvrent plus complètement la terre, comme les graminées des prairies, la luzerne, etc....

A la fin du mois d'août 1869, après un été très sec, j'ai pris des échantillons de terre, les uns à une profondeur de $0^m,15$ à $0^m,20$, les autres à une profondeur de $0^m,40$ à $0^m,45$, dans divers endroits assez rapprochés les uns des autres du plateau d'argile glaciaire qui fait partie de ma propriété de Calèves, près de Nyon. J'ai déterminé la quantité d'eau renfermée dans ces échantillons, et voici les résultats auxquels je suis arrivé :

	HUMIDITÉ RENFERMÉE DANS LE SOL a une profondeur de		DATE.
	0m,15 à 0m,20.	0m,40 à 0m,45	
Champ, chaume d'avoine non labouré depuis la moisson...........	7,57 pour 100	17,38 pour 100	26 août
Champ qui avait porté des vesces hivernées et avait été labouré en juillet après la récolte................	11,00	18,20	26 août
Vigne.....................................	9,25	10,41	24 août
Terre de jardin potager, endroit non arrosé, non planté de légumes, mais voisin d'arbres fruitiers	15,00	17,05	25 août
Bois; taillis de chênes de 9 ans	10,57	13,95	26 août
Bois; futaie de chênes de 35 à 40 ans..	9,53	7,54	26 août
Pins de 20 ans souffrant de la sécheresse.	12,85	4,46	26 août

Ainsi, déjà à la fin d'août, le sol des bois était plus sec que celui des champs, et cette différence s'est encore accrue dans la suite, parce que les pluies de l'automne n'ont pas été très fortes; dans les champs, elles ont, à partir d'octobre, augmenté l'humidité que contenait la couche arable, et peu à peu cette humidité s'est répartie de proche en proche dans le sous-sol. Mais la plupart de ces pluies d'automne se sont arrêtées au feuillage des forêts, et se sont évaporées avant d'avoir pu atteindre le sous-bois.

3. Maximum d'humidité renfermée dans le sol.

Archives des Sciences physiques et naturelles, Genève, 1870.

Dans les échantillons de terre argileuse et drainée, pris à diverses profondeurs, mais toujours au-dessus du plan des eaux, quand les drains coulent encore, ou à côté des tuyaux, quand ceux-ci ont cessé de couler depuis peu d'heures, je n'ai jamais trouvé plus de 25 pour 100 d'eau.

Pourtant, en déterminant la faculté d'absorber et de retenir l'eau que possèdent ces mêmes terres par la méthode usuelle, celle de Schübler, c'est-à-dire, en en mettant une certaine quantité bien desséchée dans un entonnoir muni d'un filtre, la saturant d'eau, lais-

sant le tout s'égoutter et comparant ensuite le poids de la terre mouillée avec le poids primitif, j'ai trouvé ordinairement plus de 40 pour 100, quelquefois jusqu'à 43 pour 100.

Si l'on met la terre dans une capsule, que l'on verse l'eau dessus et que l'on remue ou pétrisse le tout, au lieu de se borner, comme je l'ai dit tout à l'heure, à verser l'eau sur la terre placée dans un filtre, on trouve, après avoir laissé la terre s'égoutter sur un filtre, qu'elle retient encore plus d'eau; je suis ainsi arrivé jusqu'à 56 pour 100 pour la terre qui m'avait donné 48 pour 100 par la méthode de Schübler, et 25 pour 100 seulement, quand je la desséchais à l'étuve après l'avoir prise dans un champ drainé.

Cette nouvelle différence s'explique aisément. Quand je verse l'eau dans la capsule remplie de terre, quand je remue le tout, et mieux encore, quand je le pétris, je force l'eau à déplacer l'air renfermé dans les interstices et les pores les plus petits de la terre. Il n'en est pas ainsi dans un champ à sous-sol perméable ou drainé. Pendant les périodes de sécheresse, une grande partie de ces mille et mille canaux capillaires qui le traversent en tous sens sont restés remplis d'air. Quand la pluie vient à tomber, l'eau absorbée refoule cet air et y détermine, comme l'a montré M. Jamin, des pressions considérables qui s'opposent à une absorption plus complète et la forcent à s'en aller là où elle trouve moins d'obstacles à vaincre, c'est-à-dire dans le sous-sol ou dans les drains. On peut donc admettre que, dans la nature, une terre, quelque argileuse qu'elle soit, si elle a une fois été bien desséchée, et si elle n'est pas imprudemment travaillée et pétrie par les instruments aratoires ou les pieds des animaux qui y labourent avant qu'elle se soit assez égouttée, ne contient jamais le maximum d'eau que l'on pourrait lui faire absorber par les méthodes qui sont indiquées dans les Traités d'Agronomie.

III.

GÉOLOGIE AGRICOLE.

1. Deuxième partie du cours d'Agriculture comparée, professé à l'Institut agronomique.

4 volumes, chez Berger-Levrault et Cie, à Paris et Nancy.

Le cours d'Agriculture comparée que j'ai été appelé à professer, c'est-à-dire à créer, en 1876, à l'Institut agronomique, avait un but essentiellement pratique et une base essentiellement scientifique.

Le but, c'était d'apprendre à nos élèves à reconnaître le plus sûrement et le plus rapidement possible le système de culture qu'ils auraient à suivre dans les conditions variées où ils pourraient être appelés à pratiquer l'agriculture. L'Agriculture comparée étudie les lois suivant lesquelles les systèmes de culture varient ou doivent varier avec le climat, le sol ou les conditions économiques. Comme division générale, j'ai partagé le cours en :

I. Climatologie agricole.
II. Géologie agricole.
III. Histoire de l'Agriculture.
IV. Statistique agricole.

Comme nos élèves avaient, d'autre part, un excellent cours de Météorologie agricole fait, à l'origine de l'École, par Edmond Becquerel, ensuite par M. Duclaux, je me suis attaché à développer surtout les autres parties du cours et, peu à peu, j'en suis arrivé à le concentrer tout entier sur la Géologie agricole qui, particulièrement pour la France, a une importance de premier ordre. Élie de Beaumont avait prévu cette importance, lorsqu'il a montré que les divers *pays* de France correspondent presque toujours à certaines formations géologiques. Mais cette idée féconde n'avait pas encore pénétré dans l'enseignement de l'agriculture. Scipion Gras, quoiqu'il ait donné à

son livre le titre de *Géologie agricole*, y divisait encore les terrains en argileux, siliceux, argilo-siliceux, calcaires, etc. Pour baser réellement l'étude des terrains sur leur mode de formation, il fallait chercher, au milieu de la multitude de faits décrits par les géologues, les caractères qui distinguent bien les divers étages au point de vue agricole (composition minéralogique ou chimique, propriétés physiques, répartition des eaux d'où dépend, le plus souvent, celle des fermes ou des centres de population, etc.); il fallait décrire ces caractères d'une manière assez claire pour être comprise par les agriculteurs; il fallait classer les analyses de terres d'après les diverses formations et les compléter par de nouvelles analyses; il fallait classer, de la même manière, les expériences les plus topiques faites au moyen des engrais chimiques, des irrigations, drainages, etc., ainsi que les types d'assolements qui y sont suivis; puis montrer comment, dans les mêmes sols, ces systèmes de culture varient suivant qu'ils sont situés sous un climat plus ou moins chaud et plus ou moins sec, ou qu'ils sont plus ou moins peuplés et plus ou moins rapprochés des grands centres de consommation.

J'ai commencé déjà en 1850, à l'époque où j'étais étudiant à l'école d'Agriculture de Hohenheim, à recueillir des matériaux pour ce long travail et j'en ai utilisé une partie pour les études sur l'économie rurale de l'Allemagne, que j'ai publiées, en 1861, dans la *Revue germanique,* dirigée alors par mes amis Nefftzer et Charles Dollfus. J'ai continué ces recherches pendant les nombreux voyages que j'ai faits en Allemagne, en Suisse, en Angleterre et dans toutes les régions de la France.

Partout je retrouvais les formations granitiques avec leurs sommets arrondis comme les ballons des Vosges, avec leurs sources nombreuses et leurs fermes dispersées dans la campagne; en Écosse, comme en Bretagne, c'étaient des sols pauvres en chaux et en acide phosphorique. Partout je rencontrais les formations jurassiques avec les mêmes caractères : terres calcaires, mais souvent pauvres en potasse; sources rares sur les hauteurs des plateaux oolithiques, mais abondantes au fond des vallées étroites qui les traversent, etc. Il y a 40 ans, nous n'avions, pour étudier ces rapports entre la Géologie et l'Agriculture, que des cartes géologiques à petites échelles, comme

celle d'Elie de Beaumont et Dufrénoy. Elles permettaient d'établir ces rapports dans leurs lignes principales, mais il y avait souvent des exceptions dues aux dépôts d'origine quaternaire ou moderne qui se trouvent épars sur les anciennes formations et qui n'ont pas assez d'étendue pour y être signalés. Mais la plupart de ces dépôts sont représentés sur les feuilles de la Carte géologique détaillée de la France publiée par les Ingénieurs du corps des Mines sous la direction de M. Michel Lévy. Grâce à ces admirables cartes, j'ai pu compléter peu à peu l'étude des terres arables de la France; j'ai enseigné la Géologie agricole à vingt promotions d'élèves qui sont devenus mes collaborateurs et en ont répandu les principes autour d'eux dans les départements où ils se sont établis comme cultivateurs, professeurs ou directeurs de stations agronomiques. J'ai publié mon cours en quatre volumes, dont le dernier vient de paraître et dont le premier est en réimpression.

Dans les autres pays, on commence à comprendre que la Géologie doit devenir la base de l'Agronomie, mais on reconnaît en même temps que c'est la France qui a frayé la voie dans cette nouvelle application de la science à la pratique agricole.

En classant les analyses de terres d'après les formations géologiques auxquelles ces terres appartiennent et en calculant ensuite les surfaces occupées par ces formations, j'ai pu faire une estimation approximative du nombre d'hectares que nous avons en France de terres *complètes,* c'est-à-dire de terres qui contiennent en quantités suffisantes tous les éléments nécessaires à la production de belles récoltes, et de terres *incomplètes,* terres qui sont pauvres, soit en acide phosphorique, soit en chaux, soit en potasse.

Sur un territoire agricole de 49 millions d'hectares, nous avons environ 7 millions d'hectares de terres *naturellement complètes,* c'est-à-dire contenant, par suite de leur origine géologique, les doses d'acide phosphorique, de potasse, etc., nécessaires pour produire ce que nous considérons aujourd'hui comme de bonnes récoltes de blé, de racines, de trèfle ou de luzerne. Ce sont des sols d'origine volcanique, du calcaire coquillier, du lias, quelques terrains jurassiques et surtout des alluvions. Nous pouvons y ajouter 3 millions d'hectares de limons quaternaires de la Flandre et du bassin de la Seine qui

n'étaient pas naturellement complets, mais qui ont été enrichis par leur excellente culture. Cela fait un total de 10 millions d'hectares de terres complètes.

Il reste le chiffre considérable de 39 millions d'hectares de terres incomplètes dont environ 3 millions manquent surtout de potasse et dont 36 millions sont trop pauvres en acide phosphorique pour que l'on puisse songer à leur appliquer les assolements intensifs qui sont considérés comme l'idéal de l'agriculture; et, remarquez-le bien, ces terres ne sont pas pauvres en acide phosphorique, parce qu'elles ont été, comme on l'a souvent dit, épuisées par une culture imprévoyante, une culture *vampire,* suivant l'expression de Liebig; elles l'ont toujours été, elles le sont par suite de leur origine géologique.

Il y en a une partie, environ 12 millions d'hectares, qui ne manquent pas de chaux : elles appartiennent aux formations jurassique, crétacée, au calcaire grossier, au calcaire nummulitique, etc. Mais les autres sont aussi pauvres en chaux qu'en acide phosphorique. Ce sont d'abord tous les sols formés par la décomposition des roches éruptives anciennes : granites, gneiss, micaschistes, etc. (plus de 9 millions d'hectares); puis les terrains primaires, et une partie des terrains tertiaires : argile plastique, argile à silex, etc. Ces derniers ne manquent pas de potasse. Mais il y en a qui sont, comme le grès houiller, le grès des Vosges, le sable de Fontainebleau, etc., pauvres en tout.

Telles que la nature les a faites, ces terres ne peuvent produire ni blé, ni trèfle, si l'on ne trouve pas moyen de les compléter par une addition d'acide phosphorique et de chaux.

D'après un travail que M. Lindet, professeur à l'Institut agronomique, a fait avec beaucoup de soin (en 1893), nous employons en France chaque année 130000 à 135000 tonnes d'acide phosphorique. Cela fait environ 6^{kg} par hectare pour les 23 millions d'hectares de terres qui ont besoin d'acide phosphorique, complément d'acide phosphorique qui vient s'ajouter au stock qui existe déjà dans les terres ou dans les fumiers produits par les animaux domestiques.

Évidemment l'augmentation considérable que les statistiques ont constatée depuis trente à quarante ans dans les quantités de blé récoltées en France, environ 3^{hl} en moyenne par hectare, provient

en partie de cette addition de phosphates aux fumiers qu'emploient les cultivateurs. Sur ces 3^{hl}, il doit y en avoir au moins un qui est dû à l'action de l'acide phosphorique. Le reste est le résultat de l'augmentation des fumiers, due elle-même à l'accroissement des fourrages et du bétail, du nitrate de soude et des autres engrais dont l'usage s'est aussi généralisé, de la sélection des semences et, en général, des améliorations de la culture.

Mais ces 6^{kg} d'acide phosphorique sont loin de suffire pour compléter la plupart de nos terres.

2. Cartes agronomiques.

Tant qu'on était dans le vague sur l'origine des terres arables, on ne pouvait pas être fixé sur les principes à suivre pour faire des cartes agronomiques, c'est-à-dire des cartes destinées à renseigner les cultivateurs sur les qualités chimiques et physiques des terres de leur commune et, par conséquent, sur les amendements ou engrais dont elles avaient besoin. Mais les études de Géologie agricole ont conduit à une conception plus nette de la façon dont ces cartes devaient être établies.

Dans la séance du 11 février 1890 de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie, M. Van den Broeck disait :

Il existe, en ce moment, dans la confection des cartes agricoles, deux courants d'idées différents : L'un est représenté par l'*École française*, dont le chef est M. Risler, directeur de l'Institut agronomique de France qui conclut en disant que « la meilleure carte agronomique est la carte géologique détaillée, à grande échelle. »

L'autre courant d'idées est représenté par l'*École russe*, ayant à sa tête le professeur Dokoutchaïef, qui trouve les données de la Géologie seule insuffisantes et construit des cartes spéciales dites *pédologiques*.

Lorsque l'on considère chacun des deux systèmes, il est facile de reconnaître que la différence d'opinion entre les deux Écoles réside dans ce fait que, vu le vaste territoire qu'il comporte, le levé géologique de la Russie est loin d'être arrivé à l'exactitude et au détail des cartes géologiques de nos régions. La base géologique est insuffisante en Russie, mais elle ne l'est pas en France et encore moins en Belgique.

Je remercie le savant géologue belge de l'honneur qu'il veut bien me faire en m'appelant le chef de l'École française, mais je demande à partager cet honneur avec MM. Adolphe Carnot et de Lapparent.

3. Culture des argiles glaciaires de la vallée du Rhône.

Comme exemple des rapports entre la Géologie et l'Agriculture, je vais reproduire une partie de ce que j'ai dit au troisième Volume de mon livre, des argiles glaciaires de la vallée du Rhône et particulièrement de celles de la propriété de Calèves, près Nyon, en Suisse, que j'ai cultivée depuis 1857. Comme cette propriété est située à quelques kilomètres du département de l'Ain, d'un côté, et de la Haute-Savoie de l'autre, je crois qu'on peut considérer les expériences que j'y ai faites comme aussi applicables à la France qu'à la Suisse. Dans toute cette région, on trouve les mêmes terrains et les frontières politiques ont beaucoup moins d'influence sur les systèmes de culture que les limites des formations géologiques. De plus, presque tous mes ouvriers venaient de la Savoie; et ils ont rapporté chez eux, non seulement les économies qu'ils ont faites sur leurs salaires, mais une partie des procédés de culture qu'ils avaient appris sous ma direction.

Les Savoyards donnent à ces argiles le nom de *diot* dans le Chablais ou de *marcq* aux environs de Chambéry. Leur mise en culture est principalement une question de mécanique. A l'état de nature, elles sont, malgré leur richesse minérale, tout à fait improductives. On peut en juger par ces steppes ou *Teppes de diot* que l'on trouve encore aujourd'hui dans quelques localités de la Savoie, mamelons déserts sur lesquels poussent quelques genévriers et quelques lambeaux de pauvre gazon. Ces teppes tendent à disparaître de plus en plus en Savoie et l'on n'en voit plus guère en Suisse. Peu à peu le diot se transforme en terres très productives, mais il faut pour cela beaucoup de travail. Il faut, par des minages à bras ou par des défoncements à la charrue, ouvrir les entrailles de ce sol compact aux racines des plantes que l'on veut y cultiver. Pour faire durer les effets bienfaisants de ces défoncements et faire circuler à la fois l'eau et l'air dans le sous-sol, il faut drainer. Enfin pour y établir une culture

intensive, il faut de fortes doses de fumier. Plus ce fumier sera volumineux, mieux il réussira : tout en fournissant l'azote nécessaire aux récoltes, il agira physiquement en ameublissant la terre. Encore la première fumure ne suffit-elle pas pour supprimer la jachère et établir un assolement alterne. Ce n'est qu'à la seconde fumure qu'on peut considérer l'amélioration comme complète. On obtient alors d'excellentes terres à blé dans lesquelles le colza, le trèfle, etc. réussiront également bien; et l'on pourra aisément les transformer en bons prés temporaires. Mais les dépenses faites pour les améliorations représenteront deux ou trois fois, quelquefois quatre fois le prix d'achat de ces terres. S'il n'a pas un bail de plus de douze ans, beaucoup d'argent et de courage, un fermier ne peut pas entreprendre de telles améliorations. Elles ont été faites presque partout par la petite propriété. Quand de pareilles terres se trouvent dans le voisinage des villages riches et peuplés, le paysan ne recule pas devant ces mises en valeur dispendieuses.

Parmi les essences forestières, le chêne, le frêne et l'aune y réussissent bien. Quand ces terres argileuses se trouvent éloignées des fermes, une des meilleures manières de les utiliser est d'y semer des glands pour faire des taillis de chêne.

A Calèves, ces terres argileuses renferment des pierres de toutes grosseurs : granites, schistes micacés, euphotides, calcaire noir des Alpes, etc., amenés par les glaciers de la vallée du Rhône et de ses vallées latérales. Quelques-uns de ces blocs se délitent lorsqu'on les entame à la pioche : ce sont principalement des granites, d'autres résistent à toute décomposition. Par suite de ce mélange de pierres et de grains de sable provenant de la *pourriture* des granites, ces argiles sont moins compactes que le diot pur. Au lieu de trouver un sous-sol bleu, preuve de l'absence d'air, à quelques centimètres de profondeur, on ne le trouve qu'à 1^{m} ou plus. La masse argileuse est jaune-ocre, traversée jusqu'à une certaine profondeur par des fissures, sur les parois desquelles se trouve un dépôt de matières organiques brunes. Le même dépôt d'humus se retrouve autour des pierres, surtout à leur surface inférieure. Les racines des arbres suivent ces fissures, les radicelles des graminées s'y développent avec plus d'abondance et tapissent les pierres qu'elles rencontrent.

Du reste, les argiles sont loin d'être partout homogènes. Par-ci par-là, on y trouve des veines ou des nids plus ou moins sablonneux ou graveleux. En certains endroits, le sol est plus calcaire qu'en d'autres. Certaines places ont une couleur jaune, d'autres sont toutes blanches et, par conséquent, plus froides, moins faciles à réchauffer par les rayons du soleil. Quand le terrain est en pente ou simplement ondulé, la couche de terre meuble tend à s'augmenter dans les dépressions au détriment des endroits les plus élevés. En hiver, lorsque la terre superficielle des hauteurs a été bien ameublie par les gelées, les eaux de pluie l'entraînent dans les parties basses. Quelquefois même la bise suffit pour dépouiller de leur terreau les places sur lesquelles elle frappe avec plus de violence. J'ai eu la preuve de ce fait il y a quelques années. Après une chute de neiges abondantes, des vents de Nord-Est très forts les avaient enlevées en certains endroits pour les déposer en d'autres, plus abrités, à des hauteurs de 2[m] ou 3[m] et produire ainsi ce qu'on appelle dans le canton de Vaud des *gonfles*. Sur quelques-unes de ces gonfles dont je suivais la formation avec attention et dont la neige provenait évidemment d'un certain champ d'où la neige disparaissait peu à peu, je trouvai un jour une couche de plusieurs centimètres d'épaisseur de terre. J'allai voir mon champ; il n'y avait plus trace de neige et la bise, continuant son balayage, était en train d'en enlever la terre; les racines du pauvre blé que j'y avais semé en automne étaient à moitié découvertes.

Cela m'expliqua pourquoi ce champ s'était montré rebelle à toute amélioration : à mesure que j'y créais de la terre meuble, la bise me l'emmenait. Pour parer à cet inconvénient, je me suis mis dès lors en mesure de planter un rideau d'arbres qui le protégeront contre le vent du nord..., quand ils seront assez grands pour cela. Il vaudrait même mieux mettre en bois les terrains eux-mêmes, quand ils sont si exposés à la bise.

Au-dessous de ce sol varié se trouve un sous-sol plus varié encore. Tantôt c'est l'argile qui se continue à de grandes profondeurs pêle-mêle avec des blocs anguleux et marqués des stries caractéristiques des terrains glaciaires. Tantôt on découvre des veines de sable ou de gravier arrondi et plus ou moins régulièrement stratifié. Souvent ces graviers ont été cimentés par des eaux tuffeuses et forment un véri-

table poudingue encore plus impénétrable aux racines que le diot. Sur les pentes qui terminent les plateaux de Calèves, on trouve ce poudingue à environ 2^m de profondeur et il a lui-même $0^m,50$ à 1^m d'épaisseur. Quelquefois on peut, en perçant un puits perdu à travers ce poudingue, arriver à des bancs de gravier libre et drainer ainsi d'un seul coup plusieurs hectares ou y jeter les drains, si l'on n'a pas ailleurs un écoulement favorable. La recherche des sources est très capricieuse dans les terrains glaciaires. En creusant des tranchées dans les endroits où quelques indices font supposer leur existence, on rencontre quelquefois un filet d'eau abondant; mais laissez-le couler quelques jours, peu à peu il diminuera et bientôt disparaîtra tout à fait. Ce n'était qu'une poche, nid de gravier ou de sable plein d'eau, mais isolé au milieu des masses d'argiles et sans communication avec d'autres couches d'eau qui puissent l'alimenter.

En général, les plateaux argileux absorbent peu l'eau des pluies qui tombent sur eux et ne peuvent, par conséquent, pas en emmagasiner beaucoup. Il ne doit donc pas se former des sources bien abondantes dans les masses d'argiles glaciaires. Les plus considérables débouchent sur les flancs des vallées que les cours d'eau venus du Jura et des Alpes se sont creusées dans les anciennes moraines, et sont tout simplement des infiltrations de ces cours d'eau; c'est l'eau de la rivière plus ou moins bien filtrée dans les couches de graviers qu'elle a traversées.

Pour les argiles pierreuses, comme pour le diot pur, l'amélioration fondamentale est le défoncement. La charrue fouilleuse de Read, suivant une charrue ordinaire, est assez puissante pour extraire sans se briser une partie des pierres; les plus grosses, elle les ébranle ou les signale par la résistance qu'elle éprouve. Il faut la faire accompagner par un ou deux ouvriers qui, armés de pioches, achèvent de découvrir et d'arracher ces blocs : quelquefois il faut avoir recours à la poudre ou à la dynamite pour les faire sauter ([1]). Les charrues fouilleuses qui laissent le sous-sol en place, après l'avoir entr'ouvert, valent mieux pour cette opération que les grandes charrues à six ou

([1]) Quelquefois on se contente de creuser, à côté de ces blocs, un trou plus profond qu'eux et de les y faire culbuter.

huit bœufs qui retournent la terre sens dessus dessous : elles atteignent le même but avec moins de force ou de dépense; elles y arrivent plus lentement, il est vrai, mais elles risquent moins de compromettre le succès de la première récolte qui suit le défoncement, en la forçant à pousser dans une terre encore peu aérée et peu ameublie. Cependant les pommes de terre et l'avoine réussissent immédiatement après un retournement complet du sous-sol, si l'on a soin de le faire avant l'hiver et de l'aider par une forte fumure. Pour établir de nouvelles vignes, on a l'habitude de miner à $0^{m},50$ de profondeur. Les fermiers du canton de Genève font de même, quand ils veulent, au commencement de leur bail, créer une bonne luzernière; mais ils ne sèment la luzerne que la troisième année, après deux plantes sarclées et richement fumées. Le défoncement à bras représente une dépense de 1000^{fr} à 1200^{fr} par hectare.

Très souvent il est nécessaire, et presque toujours il est utile, de drainer les argiles glaciaires. C'est le complément du minage. L'influence d'un défoncement n'est durable et complète dans ces terres compactes que s'il est accompagné d'un drainage et, réciproquement, le drainage ne produit tout son effet que s'il est suivi d'un défoncement. A Calèves, j'ai drainé la plupart de mes terres avec des tuyaux placés à $1^{m},20$ de profondeur et à 10^{m} de distance, en ayant soin de placer les collecteurs suivant la plus grande pente. Le drainage m'a coûté environ 400^{fr} par hectare.

Dans les argiles glaciaires du bassin du Rhône, telles que la nature les livre à l'agriculture, les acides minéraux ne parviennent à dissoudre que 0,4 à 0,8 pour 1000 d'acide phosphorique. C'est insuffisant. Il faut donc les compléter, en y employant, outre le fumier de ferme qui est lui-même incomplet, soit des superphosphates de chaux, soit des scories de déphosphoration.

Mes analyses montrent qu'au point de vue de la potasse les argiles glaciaires du bassin du Rhône ne laissent rien à désirer. Presque toutes en contiennent de $1\frac{1}{2}$ à 2 pour 1000, quelquefois même 3 à 4 pour 1000, et la moitié à peu près de cette potasse se trouve à l'état que M. Schlœsing appelle *assimilable,* c'est-à-dire soluble dans les acides minéraux étendus d'eau. On peut, dans ces argiles, obtenir de bonnes récoltes de blé et de fourrages sans recourir à l'emploi des sels

de potasse comme complément du fumier de ferme. Mais, si la potasse n'est pas nécessaire, elle est souvent utile, en augmentant les produits de certaines cultures, par exemple, celles de la vigne et des pommes de terre.

Quant à la quantité d'azote que les terres renferment, elle dépend bien plus de la culture de ces terres que de leur origine géologique et de leur composition minéralogique. Cependant cette composition a une grande influence sur leur aptitude à conserver les matières azotées ou à les nitrifier plus ou moins rapidement.

Quand les argiles glaciaires n'ont jamais été cultivées, ou quand elles ont été appauvries par une succession de récoltes épuisantes, il faut beaucoup de temps, beaucoup de travail et beaucoup d'engrais pour les rendre de nouveau fertiles. Une première fumure de 40000^{kg} à 50000^{kg} s'y engouffre en quelque sorte sans produire aucun effet, et c'est seulement après la seconde fumure que les récoltes commencent à se relever. Malheur au fermier qui prend à loyer des terres ainsi ruinées; il s'y ruinera lui-même s'il n'a pas les reins bien solides.

Par contre, quand ces argiles ont été abondamment fumées, elles peuvent, pendant longtemps, donner de belles récoltes même avec un mode de culture qui épuiserait rapidement des terres plus légères.

Entre les argiles glaciaires à l'état d'épuisement et les mêmes terres en bon état de fumure, on peut estimer qu'il y a une différence de valeur de 750^{fr} à 1000^{fr} par hectare, et comme le drainage et le défoncement y coûtent à peu près autant, on peut dire qu'un propriétaire qui achète des terres d'argile glaciaire à l'état de nature ou d'épuisement cultural doit compter qu'il devra y mettre 1500^{fr} à 2000^{fr} par hectare comme capital d'amélioration avant de pouvoir les considérer comme arrivées à un état normal de fertilité et d'y obtenir du blé et des fourrages à un prix de revient satisfaisant.

IV.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE.

1. Transpiration des plantes.

Archives des Sciences de la Bibliothèque universelle de Genève, 1872.

Pour déterminer les quantités d'eau transpirées par les plantes, j'ai commencé par employer trois méthodes déjà anciennes. Je me suis borné à les modifier dans quelques détails; je les ai appliquées à un plus grand nombre de plantes et, comme chacune d'elles a certains avantages et certains inconvénients, j'ai corrigé les résultats des unes par ceux des autres. Enfin, j'ai contrôlé le tout par une quatrième méthode dont j'ai trouvé les éléments dans les observations météorologiques, jaugeages des drains et déterminations de l'humidité du sol, que je faisais régulièrement depuis 1866 et dans les notes que j'ai prises en même temps sur l'état de mes récoltes.

D'après mes expériences, on peut fixer la transpiration moyenne par heure et par décimètre carré de surface foliaire :

	Eau. gr
Pour la luzerne	0,46
Pour le chou	0,25
Pour le pommier	0,23
Pour le gazon	0,21
Pour le blé	0,175
Pour le maïs	0,16
Pour l'avoine	0,14
Pour la vigne	0,12
Pour la pomme de terre	0,085
Pour le chêne	0,06
Pour le sapin	0,052
Pour le noyer	0,04

Pour passer de là à la transpiration moyenne par hectare, il fallait

déterminer la surface des feuilles qui couvrent 1^ha ou du moins 1^mq. J'ai fait un certain nombre de ces déterminations dont voici les résultats :

	NOMBRE de tiges par mètre carré de sol	SURFACE d'évaporation par mètre carré de sol.	POIDS MOYEN d'une tige verte.
Seigle. 2 mai. Superbe récolte au moment de l'épiage	458	8,24	gr 5
Seigle. 2 mai. Autre champ	625	6,50	3,86
Blé. 30 mai. Très beau; la floraison commence	565	10,95	6,7
Avoine. 30 juillet. Six feuilles, belles	570	9,11	2,0
Maïs. Juillet. Plantes distantes de $0^m,30$ à $0^m,33$.	9	8,0	?
Maïs. 12 septembre. Semé très épais pour fourrage vert	132	22,04	60
Pré-gazon. 31 mai	1708	12,40	2,0
Trèfle. 15 octobre. 1re année	?	16,36	?
Luzerne. 4 juin. Assez belle	868	7,03	1,99
Luzerne. 3 mai. 4e année; haute de $0^m,35$	1225	12,42	4
Pommes de terre. 30 juillet	5,6	6,88	?
Chou branchu. Septembre	9	8,00	?
Vigne. 28 août. Chasselas	1,5	4,94	?
Sapin de 30 à 40 ans	0,12	11,75	?
Chêne. Tronc de $1^m,15$ de circonférence à 1^m de hauteur		9,00	?

En me servant des données qui précèdent et les corrigeant d'après les observations faites dans les cultures de Calèves, j'arrive aux chiffres suivants pour la consommation moyenne quotidienne des plantes. Je l'exprime en millimètres d'eau :

	mm	mm
Luzerne	3,4	à 7
Prairies	3,14	7,28
Avoine	2,9	4,9
Féves	plus de 3	
Maïs	2,8	à 4
Blé	2,67	2,8
Trèfle	2,86	
Seigle	2,26	
Vigne	0,86	1,3
Pomme de terre	0,74	1,4
Sapin	0,5	1,1
Chêne	0,45	0,8

Prairies. — Dans mes expériences, une surface de $0^{mq},02$ en gazon très épais de ray-grass anglais, a consommé en 39 jours, du 25 juillet au 3 septembre, 5621^{gr} d'eau pour produire 9^{gr} de matière séchée à 100°.

Cela fait par hectare 281^{mm} de hauteur d'eau pour produire 4500^{kg} de substance complètement sèche ou (comme le foin contient ordinairement 15 pour 100 d'eau) 5175^{kg} de foin, soit 545^{kg} d'eau pour produire 1^{kg} de foin.

C'est une consommation de 7^{mm} de hauteur d'eau par jour, chiffre qui coïncide avec ceux qu'ont trouvés Schübler et Marié-Davy dans des conditions analogues.

Ces conditions sont celles d'une prairie abondamment pourvue d'eau dans la saison la plus chaude de l'année.

Les jours où le ciel était couvert, l'air humide et par contre la terre un peu sèche, l'évaporation se réduisait au quart de la moyenne, c'est-à-dire à l'équivalent de $1^{mm},4$.

Dans la région des vignobles du sud de la Suisse et en Savoie, les prés commencent à verdir quelquefois à la fin de mars, et le plus souvent dans les premiers jours d'avril; la fenaison commence avec le mois de juin. C'est donc pendant les mois d'avril et de mai que se fait la croissance de l'herbe.

En comparant les quantités de pluie tombées pendant ces deux mois avec les récoltes en foin faites à Calèves, je trouve qu'il a fallu en moyenne 438^{kg} d'eau de pluie pour faire 1^{kg} de foin. Pour le regain, chaque millimètre de pluie tombée pendant les mois de juin, juillet et août, en fait à peu près 3^{kg} par hectare. En Lombardie, la quantité d'eau la plus faible que l'on emploie pour les irrigations est 1^{lit} par seconde et par hectare, c'est-à-dire par jour une hauteur de $8^{mm},64$, à peu près de quoi suffire à la transpiration que mes expériences ont constatée.

Forêts. — Le chiffre de $1^{mm},1$ d'évaporation par jour pour un hectare de forêt de sapins est un maximum obtenu dans des conditions exceptionnellement favorables, sol fertile et humide avec lumière abondante. Par contre, la surface du feuillage du chêne a été mesurée dans une année où il était moins développé et moins beau que d'ordinaire.

Après avoir mesuré exactement la surface des feuilles de quelques branches et la circonférence de leur tige, j'ai trouvé que cette surface était dans un rapport assez exact avec le carré de cette circonférence. C'est sur cette base que j'ai calculé la surface totale des feuilles, après avoir mesuré la circonférence du tronc.

On voit que si un hectare de forêt évapore plus d'eau qu'un hectare de terre nue, elle évapore beaucoup moins qu'un hectare de fourrages verts ou de pâturages.

Non seulement les forêts retiennent la terre meuble au milieu du clayonnage naturel que forment leurs racines et l'empêchent d'aller combler les lits des torrents et des rivières; non seulement elles ralentissent l'écoulement des eaux de pluies et permettent à la terre d'en retenir une partie, mais elles évaporent moins qu'une surface égale de pâturages. S'il tombe en moyenne $2^{mm},5$ d'eau par jour, dont 2^{mm} pénètrent dans le sol, les forêts n'en dépensent pas la moitié. Le reste peut se conserver dans le sous-sol et alimenter ces filets d'eau souterrains qui coulent longtemps à la surface des roches, sous les débris meubles qui les recouvrent, jusqu'à ce que leur thalweg invisible aboutisse à la surface de la pente et donne jour à une source.

2. Température nécessaire à la végétation du blé.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences de 1882, et Physiologie et culture du blé, chez Hachette et Cie; 1885.

Pendant plusieurs hivers j'ai suivi, en plein champ, le développement d'un certain nombre de plantes de blé que je mesurais et dessinais de temps en temps. Je n'ai jamais pu constater un accroissement quand la température de l'air à l'ombre n'avait pas été, au moins pendant quelques jours de suite et chaque jour au moins pendant quelques heures, à $+6^{\circ}$. J'ai donc considéré, suivant l'exemple de A. de Candolle et Hervé Mangon, $+6^{\circ}$ comme la température initiale du blé et additionné toutes les moyennes supérieures à ce chiffre

depuis le jour de l'ensemencement jusqu'à la moisson. J'ai trouvé qu'il lui faut :

		En moyenne.
	° °	°
Pour la levée	148 à 160	150
Pour former les feuilles	810 1080	945
Pour l'épiage et la floraison	200 270	235
Pour la maturation	780 840	810
Total	1930 2350	2140

La terre, à 1^m, n'a de rapports directs avec le blé que par les racines qui s'étendent jusqu'à cette profondeur. Cependant, les variations de température de quelque importance qui agissent à la surface du sol se font sentir, au bout de quelques jours, jusqu'à 1^m de profondeur, et s'enregistrent, sur le thermomètre qui s'y trouve placé, en moyennes très précises, d'autant plus fortes que l'insolation a été plus considérable à l'extérieur, d'autant plus faibles que la chaleur solaire a eu plus d'humidité à évaporer. Il n'est donc pas sans intérêt de savoir quelles sont les sommes de température du sol, à 1^m, correspondant à la période de végétation du blé. La moyenne a été de 2307°, 2.

3. Eau nécessaire à la végétation du blé.

Archives des Sciences physiques de Genève, 1872.

D'après mes observations, le blé, à raison de 565 tiges par mètre carré, a dans ses feuilles une surface d'évaporation ou de transpiration dix fois plus grande que le terrain qui le porte, et consomme en moyenne par jour de 2^mm,67 à 2^mm,8 de hauteur d'eau, un peu plus au printemps, un peu moins en été. Or il tombe en moyenne sur mes champs de Calèves 258^mm d'eau pendant les mois de mars, avril, mai et juin, période active de la végétation du froment; cela ne fait guère plus de 2^mm par jour. Il faut donc que mon blé trouve, pour suffire à ses besoins, dans le sol un supplément d'humidité, provenant des pluies et neiges de l'hiver, et que la terre ait un pouvoir absorbant assez grand pour retenir cette humidité.

Il m'est arrivé plusieurs fois de semer du blé dans des terres très sèches en apparence, et cependant il a levé sans qu'il soit tombé une goutte de pluie. Pendant le jour, la couche supérieure du sol se

réchauffait et ses interstices se remplissaient de vapeur d'eau qui provenait du sous-sol encore humide; puis, le soir, la surface du champ se refroidissait et, non seulement il s'y déposait des rosées abondantes provenant de l'humidité de l'atmosphère, mais il se formait dans les interstices de la couche arable une *rosée intérieure* par suite de la condensation de la vapeur d'eau qui y était montée. Ces doubles rosées absorbées par la terre fine ou déposées sur les grains eux-mêmes finissaient par suffire pour les faire germer.

4. Détermination de l'époque des semailles.

Physiologie et culture du blé. Hachette et Cie, 1885.

Si, comme l'a dit Haberlandt, le grain de blé peut commencer à développer ses radicelles à une température de 3°,5 à 4°, je n'ai jamais pu réussir à constater le moindre progrès dans la croissance de sa tigelle quand la température est inférieure à + 6°. Nous pouvons donc considérer + 6°, même pour certaines variétés + 7°, comme la température nécessaire à la levée du blé, et nous guider, d'après cela, pour déterminer l'*époque des semailles*.

Nous n'avons qu'à consulter, dans la région où nous pratiquons l'agriculture, les températures moyennes de l'air pendant les derniers mois de l'année, et nous pouvons être certain que, dans celui où la température moyenne est au-dessous de + 6°, et même pour certaines variétés dans celui où cette température a déjà baissé à + 6°,5, il est trop tard pour semer le blé.

Ainsi, aux environs de Paris, la moyenne de novembre a été, de 1806 à 1880, 6°,5, mais il y a eu des années où cette moyenne est descendue à 4° ou même 3°,1. Par conséquent, si l'on ne faisait les semailles qu'en novembre, on aurait peu de chances de voir le blé prendre quelque force avant l'hiver. De là le proverbe : « Quand réussit la semaille de la Toussaint, le père ne doit pas le dire à son fils. »

Mais la moyenne d'octobre a été, pour la même période, 11°,25, et il y a eu peu d'années où elle a été inférieure à 10°. Si, comme je l'ai montré, il faut au froment enterré à 4cm de profondeur, dans des conditions d'humidité favorables à la germination, 86° pour lever et 200°

à 300° pour former deux ou trois feuilles de plus, ce total de 286° à 386° représente, avec la moyenne d'octobre, 20 à 30 jours de végétation, c'est-à-dire le mois presque entier.

Les semailles faites pendant la première quinzaine d'octobre ont donc toutes chances de succès. Mais déjà celles de la deuxième quinzaine peuvent être compromises, si un excès de sécheresse retarde la germination et si la température baisse beaucoup dès le commencement de novembre. Il est vrai qu'en automne la température moyenne du sol s'abaisse moins rapidement que celle de l'air et que, si les parties extérieures de la jeune plante ne reçoivent plus assez de chaleur pour se développer avec vigueur, les racines peuvent en trouver encore assez autour d'elles pour grandir et absorber les aliments qui font grossir les bourgeons cachés sous l'aisselle des feuilles et produisent ainsi du tallage. Il est vrai que parfois il y survient, après quelques semaines froides, un retour de température plus douce, un été de la Saint-Martin, qui réveille pendant quelque temps la végétation engourdie. Il est vrai aussi que, si l'hiver couvre les champs d'un épais manteau de neige, la terre conserve encore plus longtemps sa chaleur sous cet abri et, quand cette neige disparaît, on trouve que le froment a grandi et pris quelques feuilles de plus. Mais, dans les environs de Paris et dans tout l'ouest de la France, il est rare que la couverture de neige dure assez longtemps pour exercer cette action bienfaisante. Il ne faut donc pas compter sur elle et se rappeler le vieux dicton :

Si tu veux bien moissonner,
Ne crains pas de trop tôt semer.

5. Profondeur des semis et développement des racines du blé.

Physiologie et culture du blé.

Le 25 août, j'ai mis dans une caisse de la terre de jardin, terre argileuse, mais riche en humus. Je l'ai bien tassée et j'ai disposé sa surface en plan incliné de manière qu'elle s'élevât à une des extrémités jusqu'au bord de la caisse, mais fût à $0^{m},20$ au-dessous de ce bord à l'autre extrémité. J'ai marqué la pente de la surface à la craie

sur l'extérieur de la caisse. Puis j'ai semé des grains de blé sur tout ce plan incliné et je les ai recouverts de terre meuble jusqu'à ras des bords de la caisse; en sorte que, d'un côté, les grains étaient à peine recouverts, tandis que, de l'autre, ils se trouvaient à $0^m,20$ et, entre deux, à tous les degrés intermédiaires de profondeur.

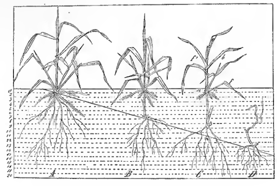
Les grains les moins couverts ont montré leur tigelle le 30 août; ceux qui étaient enterrés à $0^m,03$ ont pointé le 1[er] septembre; déjà le 2 on en voyait quelques-uns levés à $0^m,06$, et le 3 à $0^m,08$. Ceux qui étaient à plus de $0^m,08$ n'ont pas réussi à traverser la couche de terre qui les séparait de la lumière, excepté deux ou trois qui se trouvaient tout à fait au bord de la caisse.

Le 4 octobre, j'ai enlevé un des côtés de la caisse et, en y versant de l'eau, j'ai fait tomber peu à peu la terre qui entourait les racines, de manière à découvrir celles-ci sans les briser et à pouvoir ainsi étudier leur structure. La figure ci-jointe représente quelques-unes de ces plantes de blé.

Le grain D, qui se trouvait à $0^m,11$ de profondeur, n'a produit qu'une plante atrophiée, dont la tige et les feuilles blanches ou jaunâtres se sont contournées en vain, dans les interstices de la terre, pour arriver à sa surface; mais la provision de nourriture renfermée dans la semence a été épuisée avant qu'elles aient pu atteindre la lumière et y absorber l'acide carbonique de l'air. Ces avortons de plantes prennent toutes sortes de formes bizarres dans la sombre prison où elles sont enfermées; les tiges ressemblent à des racines blanches; quelques-unes ne réussissent pas à sortir de la feuille cotylédonaire et la déchirent, en s'y recourbant. Les zigzags qu'elles décrivent proviennent évidemment du plus ou moins de résistance qu'elles trouvent sur tel point ou tel autre pour passer à travers les molécules de terre. Elles ne tendent à prendre une direction verticale et ne se redressent qu'à partir du moment où leur bout réussit à voir le soleil. Celles qui se trouvent au bord de la caisse trouvent moins de résistance que les autres, parce qu'il y a eu un peu de retrait dans la masse de la terre et qu'il s'est ainsi formé un intervalle entre cette masse et la planche qui la limitait. Elles sont en retard sur les plantes qui proviennent de graines placées à moins de $0^m,08$ de profondeur; elles ont moins de feuilles, et les feuilles sont plus étroites. Elles ont

un collet, mais ce collet, au lieu de se trouver à peu près à la surface du sol, se montre plus bas.

Comme tous les organes de la plante, les nœuds, caractéristiques de la tige des céréales, existent déjà en miniature dans l'embryon de leur graine et dans la tigelle qui se forme par sa germination. On pourrait comparer cette tigelle à une lunette ou à une canne à pêche dont toutes les parties sont rentrées les unes dans les autres, et les nœuds aux points



Développement de graines de blé semées à diverses profondeurs.

d'attache de ces différentes parties. Chaque nœud est un point où les faisceaux fibro-vasculaires forment dans la tige une sorte de cloison transversale en s'entre-croisant et se bifurquant pour entrer en partie dans la feuille qui y correspond, tandis que, dans les intervalles, dans les entre-nœuds ou mérithalles, ces faisceaux sont longitudinaux, parallèles à la direction de la tige. Les racines ont, comme les feuilles, leur point de départ dans les nœuds, mais au-dessus d'elles, en sorte que les racines qui sortent d'un nœud sont alimentées en carbone par la feuille qui sort du nœud suivant et, réciproquement, ces racines ne peuvent fournir les matières azotées et minérales qu'elles puisent, avec

l'eau, dans la terre, qu'à la feuille qui part du nœud suivant et à l'entre-nœud qui les en sépare.

Le premier mérithalle s'allonge jusqu'à ce que la feuille *f*, qui correspond au premier nœud *n* de la plante C, et la tige qui se trouve au-dessus de ce nœud puissent recevoir l'action de la lumière, verdir et commencer à décomposer l'acide carbonique de l'air. Ainsi le nœud *n* se rapproche peu à peu de la surface. Alimenté par la feuille *f* du nœud suivant *n'*, il émet des racines qui font grossir la tige et élargir les feuilles au-dessus d'elles. A son tour, le nœud *n'* développe des racines, et, quand l'alimentation de la plante est assez abondante, les bourgeons qui étaient cachés sous l'aisselle des feuilles, comme *b* sous la feuille *f*, peuvent également grossir et former des tiges adventices ou *talles*.

Ces racines nouvelles, formées au collet de la plante, ne tardent pas à supplanter complètement celles qui étaient sorties les premières de la semence. Ces racines inférieures se détachent facilement de la terre qui les entoure, ce qui prouve qu'elles ne fonctionnent plus activement, tandis que les racines supérieures, plus grosses, plus charnues, sont couvertes de poils qui restent entourés de particules de terre.

A la plante B, qui provient d'un grain enterré à $0^m,05$, il y a déjà deux talles, l'une correspondant à la feuille *f*, l'autre à la feuille *f'*. Le nombre des racines supérieures me paraît être à peu près égal à celui des feuilles de ces tallages. Chacune de ces tiges adventices a, de plus, une feuille cotylédonaire, comme la tige principale ou la plante entière; ce sont en quelque sorte des plantes secondaires sorties de cette plante mère.

A la plante A, dont la semence n'était recouverte que d'un demi-centimètre de terre, le premier mérithalle n'a pas eu besoin de s'allonger pour porter le nœud et la feuille qui en sortait jusqu'à la lumière. Cette feuille n'a pas eu à traverser une certaine épaisseur de terre et elle a pu commencer à puiser de la nourriture dans l'air avant d'avoir employé toute celle qui était en réserve dans la graine. Aussi la plante est-elle plus avancée et plus vigoureuse que les autres. Cela ferait croire que les semis les moins profonds font les meilleurs blés. Il faut recouvrir les semences pour qu'elles ne soient pas exposées à être dévorées par les oiseaux ou à manquer de l'humidité nécessaire à leur

germination, voilà tout. Semer le froment à une trop grande profondeur est plus à redouter que le semer à une trop faible profondeur. Dans les terres fortes, cette profondeur peut varier de $0^m,02$ à $0^m,05$ ou $0^m,06$; dans les terres légères elle peut aller jusqu'à $0^m,10$ ou $0^m,12$. On peut semer les grosses graines un peu plus profond que les petites. Mais, pour chaque sorte de graine, comme pour chaque qualité de terre, il y a une limite qu'il est dangereux de dépasser.

Pour que les semences soient à la profondeur qui leur convient le mieux, il faut, non seulement une terre très bien préparée, mais des semis faits avec beaucoup de régularité.

Souvent on s'imagine que ces semences se trouvent réellement à la profondeur de $0^m,04$ à $0^m,05$ qu'on a voulu leur donner. On se trompe et, si l'on pouvait entr'ouvrir les entrailles de la terre, on en trouverait la plus grande partie cachées à $0^m,10$, $0^m,15$, quelquefois plus, et cherchant en vain à pointer à travers la couche trop épaisse qui pèse sur elle. Pourquoi? Parce que la terre n'était pas bien rassise au moment où le semis a été fait, parce qu'elle était *creuse* ou *soufflée*, comme disent les cultivateurs du Nord. En faisant l'expérience que j'ai décrite plusieurs années successivement et avec différentes terres, je suis arrivé à me rendre compte plus exactement de la funeste influence que la terre trop meuble et surtout la terre trop creuse peuvent souvent avoir sur la culture du blé.

Quand il a fait ses intéressantes recherches sur l'air confiné dans la terre végétale, Boussingault a tassé du sable humide dans un vase cylindrique d'une capacité de 34^{lit}, en le laissant tomber deux fois sur le sol, après l'avoir soulevé à $0^m,2$. « Ainsi tassé, dit notre illustre maître, le sable humide, autant qu'on pouvait en juger par le tact, par l'aspect, avait la consistance que possède la terre arable légère quelques mois après les labours. » En y versant peu à peu de l'eau, Boussingault en expulsa $10^{lit},8$ d'air. Mais le même sable, ayant été plus fortement tassé en le comprimant avec le pied, à mesure qu'on le mettait dans le vase, on n'en a plus retiré que 3^{lit} d'air.

Dans les champs labourés, le tassement que Boussingault a produit en laissant retomber son vase se produit lentement par suite des pluies qui tombent sur la terre et des variations de la pression de l'air qui s'exerce à sa surface.

En 1885 j'ai rempli ma caisse, qui avait 60^{lit} de capacité, de terre sèche, terre argileuse en grumeaux plus ou moins gros; je ne l'ai tassée en aucune façon et j'ai pu constater qu'il y avait près de la moitié de vides intérieurs : $26^{lit},6$. J'y ai semé du blé sur un plan incliné, comme celui que j'ai décrit plus haut, et j'ai eu soin de marquer la pente de ce plan, avec de la craie, sur l'extérieur de la caisse. Puis j'ai semé mes grains et j'ai remis de la terre pour les recouvrir jusqu'au bord de la caisse, qui avait $0^{m},28$ de hauteur. Trois semaines après, la surface du sol était descendue de $0^{m},04$ à $0^{m},05$ au-dessous du bord de la caisse par suite du tassement qu'avaient produit les arrosements et jusqu'à un certain point de la secousse qu'on avait imprimée à la caisse en la transportant de la serre dans le jardin.

Puis, quand j'ai découvert les racines de mon blé, j'ai pu constater que la plupart de mes graines se trouvaient à une profondeur plus grande que celle où je les avais mises. Non seulement elles étaient toutes descendues, comme la surface de la terre, de $0^{m},04$ à $0^{m},05$ au-dessous de la ligne que j'avais marquée à l'extérieur de la caisse, mais les unes étaient à $0^{m},08$ de profondeur au lieu d'être à $0^{m},05$, d'autres à $0^{m},16$ au lieu d'être à $0^{m},09$. Ce fait m'a fait comprendre pourquoi aucune des graines que j'avais semées ou du moins que j'avais cru semer à plus de $0^{m},05$ de profondeur n'avait donné de plante. Le premier effet du tassement et des déplacements, on pourrait dire des chutes qu'il avait amenées plus ou moins irrégulièrement dans l'intérieur de la masse de terre, avait été d'empêcher une partie des semences de germer ou de produire des plantes capables d'arriver jusqu'à la lumière. Ce n'est pas tout. Le tassement de plus en plus prononcé a quelquefois un autre effet sur une partie des plantes qui s'étaient développées et qui avaient commencé à former un collet à la surface du sol.

Par suite d'un tassement plus fort au-dessus de la graine qu'au-dessous ou de la résistance des racines qui empêchent cette graine de descendre encore plus bas, le collet reste en quelque sorte suspendu à quelques centimètres en l'air, et les nouvelles racines qui commençaient à s'y développer sont exposées à périr avant d'avoir pu rejoindre la terre. Quelquefois le poids de la tige et des feuilles recourbe le mérithalle qui supporte le collet et le rapproche du sol, et, si le temps

est assez humide, ces racines réussissent à s'y fixer de nouveau et à continuer à croître; mais, s'il survient une sécheresse, la plante est exposée à périr.

On croyait généralement que les racines définitives qui se forment aux premiers nœuds de la tige et près de la surface du sol se développent vers la fin de février ou durant le mois de mars, et les livres d'agriculture les appelaient même *racines printanières*. Mais mes observations m'ont montré que, pour tous les blés semés d'assez bonne heure, ces nouvelles racines apparaissent déjà en automne, quand la jeune plante a formé sa troisième feuille. Et ce fait a une grande importance; c'est grâce à lui que le blé peut être cultivé dans le centre et le nord de l'Europe, partout où les hivers sont assez froids pour que la partie supérieure de la terre soit gelée pendant quelque temps. En effet, le froid ne pénètre que peu à peu dans le sol humide et le congèle par couches successives qu'il est facile de constater. La glace, ou plutôt la terre gelée, se dilatant dans tous les sens autour de la jeune tige de blé, agit sur elle exactement comme une tenaille au moyen de laquelle on arrache un clou : d'un côté, elle la pince, de l'autre, elle cherche à la séparer de la terre sous-jacente qui n'est pas encore gelée et des racines inférieures qui s'y trouvent. Si cette tenaille de glace réussit à couper la tige, ce qui malheureusement arrive souvent, et si les racines supérieures ne sont pas encore formées, la plante est perdue, tandis que, si les racines supérieures existent déjà, quelques-unes d'entre elles peuvent être blessées ou avoir le bout coupé, mais la partie soulevée est une plante complète; elle n'a perdu que ses vieilles racines, devenues inutiles, et, au printemps, pourvue de tous ses organes, elle peut reprendre sa croissance, surtout si un roulage fait à propos vient raffermir autour d'elle la terre ameublie par le dégel.

V.

ÉCONOMIE RURALE.

1. Aires d'approvisionnement des grands centres de population.

Cours d'Économie rurale professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures.

Comme la terre ne produit qu'en raison de sa surface, du soleil qui mûrit ses récoltes et de la pluie qui les arrose, il faut, pour fournir à chaque homme les denrées qu'il consomme, une surface d'une certaine étendue, étendue qui peut être restreinte jusqu'à un certain point par le perfectionnement des procédés de culture, mais à laquelle la nature impose partout un minimum. Ainsi, la production de tout ce qui se consomme à Paris, blé, viande, lait, légumes, etc., exige, dans les conditions actuelles de notre agriculture, à elle seule, toute la surface d'un cercle qui aurait plus de 100^{km} de rayon. Mais cette surface doit également nourrir tous ceux qui la cultivent et les habitants de toutes les villes qui sont situées à moins de 100^{km} de la capitale, Versailles, Rouen, etc.

L'aire d'approvisionnement de Paris doit donc s'étendre encore plus, et elle rencontre celle d'autres grandes villes, surtout celle de Londres et des cités manufacturières de l'Angleterre. Toutes ces surfaces, s'ajoutant les unes aux autres, finissent par former cette immense aire d'approvisionnement qui est devenue nécessaire aux populations concentrées par le développement de l'industrie et du commerce dans l'ouest de l'Europe. Les diverses productions y sont associées, suivant les besoins des assolements, ou séparées, suivant les aptitudes naturelles des terres et des climats; mais, en général, elles se groupent en zones plus ou moins concentriques autour des marchés qu'elles alimentent, et ces zones spéciales : lait, engraissement de bétail, élevage, laine, etc., sont échelonnées d'après la

facilité plus ou moins grande avec laquelle leurs produits se transportent.

Parmi ces produits, prenons le blé, par exemple. Il est évident qu'à la limite extrême de la zone qui le fournit, le bénéfice net que donne sa culture est le plus faible possible, et que, sur le marché central, le prix devra être au moins égal à la somme des frais de production et des frais de transport que le blé de cette terre lointaine doit supporter pour y arriver. Quant aux terres plus favorisées, soit comme facilité de production, soit comme proximité du centre, la culture du blé y donnera un bénéfice net, égal à la différence entre le prix de vente sur le marché central et la somme de ces frais de production et de transport. C'est ce bénéfice que les économistes appellent *rente*.

2. Influences économiques des chemins de fer.

Dans une étude sur les *Influences économiques des chemins de fer*, que j'ai publiée en 1864 (Zurich, chez Gull frères), j'ai évalué les économies que l'établissement des chemins de fer permettait de faire déjà à cette époque à plus d'un milliard par an pour la France. Mes calculs ont été cités et approuvés par Perdonnet et Jacqmin dans leurs Traités sur les Chemins de fer.

D'après l'évaluation des propriétés non bâties de la France, publiée en 1883 par l'Administration des Contributions directes, la valeur vénale de ces propriétés avait augmenté, de 1851 à 1875, de plus d'un milliard par an, progression deux fois plus rapide que pendant les cinquante premières années du siècle. Le revenu correspondant s'était accru de 821 millions et cet accroissement provenait principalement, soit de l'action directe des chemins de fer sur les prix, soit des améliorations agricoles qu'ils avaient permis d'accomplir dans les départements éloignés des grands centres de consommation. Pour se faire une idée complète de leur influence, il faudrait ajouter, à ce revenu, celui des propriétés bâties, qui a augmenté d'environ 600 millions, et celui des industries de toute sorte, houillères, usines métallurgiques, etc., qui en ont largement profité.

Après avoir été interrompue par la guerre de 1870-1871, la pro-

spérité industrielle se développa avec une intensité d'autant plus grande que la consommation l'avait dépassée, et qu'il y avait beaucoup de vides à combler dans les approvisionnements. Pendant quelques années, les bénéfices furent encore considérables, et, plus que jamais, on s'organisa comme si ces bénéfices devaient toujours durer. Les anciennes fabriques s'agrandirent, et, de tous côtés, on en bâtit de nouvelles. Il en fut de même en Angleterre, en Belgique, en Allemagne, en Suisse, dans l'est des États-Unis américains. L'Europe ne suffisait plus à l'abondance de ses capitaux; ils débordèrent sur les pays nouveaux, établissant des chemins de fer, perçant des isthmes, perfectionnant les moyens de transports maritimes, créant des usines de toute sorte, développant dans l'ouest de l'Amérique la production du blé, en Australie celle de la laine, en Italie et en Espagne celle du vin, en Autriche celle du sucre; et fournissant ainsi des moyens d'extension à la concurrence de ces contrées lointaines où la terre et tous les produits spontanés de la nature n'avaient presque pas de valeur.

Quand la guerre de la sécession fut terminée, les Américains se mirent à construire des chemins de fer avec l'ardeur fiévreuse qu'ils mettent dans toutes leurs entreprises. Une quinzaine d'années leur ont suffi pour relier l'océan Pacifique à l'Atlantique, à travers les Montagnes-Rocheuses, et couvrir toute la Confédération d'un réseau de lignes qui se font concurrence entre elles. En 1850, ils n'en avaient que 14500^{km}; en 1860, c'était 49000^{km}; 85000^{km} en 1870; 150000^{km} en 1880. On voit que l'augmentation fut exceptionnellement forte de 1870 à 1880; en même temps, elle atteignit des états exceptionnellement favorables à la culture du blé, et permit de doubler sa production. En 1870, cette production était de 82 millions et demi d'hectolitres, et, les prix commençant à être, sur la place de New-York, inférieurs à ceux de Londres, il y eut une première exportation de 17 millions et demi d'hectolitres pour l'Angleterre. En 1878, la récolte atteignait 147 millions d'hectolitres, et l'exportation en Europe, 51 millions, dont 5 millions et demi pour la France; en 1879, elle s'élevait à 160 millions, et l'exportation à 52 millions d'hectolitres. Certes, le secours des blés américains fut un grand bienfait pour nos populations industrielles de l'Europe; sans eux, nous aurions revu,

en 1879, les misères de 1846 et 1847; mais aussi, sans leur concurrence, nos fermiers auraient pu trouver dans la hausse du prix une certaine compensation pour la faiblesse de leurs récoltes. Les cultivateurs qui avaient des économies les entamèrent pour payer leurs loyers, les autres ne les payèrent pas ou s'endettèrent; ceux qui avaient déjà des dettes achevèrent de se ruiner. Ce fut le commencement de la crise agricole, qui se produisit d'abord en Angleterre, puis en France et dans tous les pays de l'Europe, où, par suite du développement du Commerce et de l'Industrie manufacturière, le prix du blé et la valeur des terres avait le plus augmenté.

3. La crise agricole en France et en Angleterre.

Revue des Deux-Mondes, 1885, et Rapport à Monsieur le Ministre de l'Agriculture sur la situation de l'Agriculture du département de l'Aisne, en 1884.

En 1884, à la suite d'une interpellation que M. le comte de Saint-Vallier fit au Sénat sur la crise agricole, et spécialement sur la situation du département de l'Aisne, je fus chargé par M. Méline, Ministre de l'Agriculture, de faire, avec MM. Heuzé, Barral, Lecouteux, Philippart et Menault, une enquête et de rédiger le rapport général sur ce département.

Au sujet des droits d'entrée que le Conseil général de l'Aisne avait demandés sur les céréales et les bestiaux et qui ont été votés depuis par le Parlement, j'ai dit alors, ce qui paraissait une hérésie économique : « Ce serait une erreur de croire que des droits d'entrée feraient hausser le prix d'un quintal de blé ou d'une tête de bétail de toute la quotité de ces droits. Ils ne les feraient hausser que dans la mesure où les produits étrangers concourent avec les produits français à alimenter notre consommation. Par conséquent, des droits d'entrée sur les produits étrangers ne peuvent faire ni autant de bien aux agriculteurs, ni autant de mal aux consommateurs qu'on se l'imagine. » L'histoire du prix du blé, pendant ces dernières années, m'a quelquefois donné raison et j'espère avoir d'autant plus raison à l'avenir que, par suite des progrès de l'agriculture, la production du blé en France se rapproche de plus en plus des besoins de sa consommation. Comme

remède à la crise agricole, j'insistais surtout sur les progrès qu'il y avait encore à faire dans nos procédés de culture. Voici les conclusions de mon rapport :

« Au milieu de la concurrence universelle qui résulte du perfectionnement des moyens de transport de toutes sortes sur terre et sur mer, les prix des marchandises tendent à se niveler. Les capitaux et la demande du travail augmentant de plus en plus, le rapport entre le salaire et la valeur des denrées de première nécessité s'élève, et le bien-être s'accroît pour les classes inférieures.

» Mais, en même temps, si la lutte pour l'existence est moins pénible pour l'ouvrier, elle devient beaucoup plus difficile pour les industries et les cultures qui les emploient. Ceux qui dirigent les entreprises et leur fournissent les capitaux sont obligés de se tenir constamment au courant de tous les progrès pour ne pas être dépassés par leurs concurrents étrangers. Il faut que les agriculteurs choisissent les productions qui sont les mieux adaptées à leur climat et à leur sol; il faut que, comme les chefs d'industrie, ils possèdent toutes les connaissances techniques et les capitaux nécessaires pour employer les méthodes nouvelles que la Chimie et la Mécanique ont inventées et pour diminuer ainsi leur prix de revient, malgré la cherté de la main-d'œuvre. La victoire sera aux entreprises industrielles ou agricoles les mieux organisées et les mieux dirigées. Il en est ainsi pour toutes les industries manufacturières; il en est ainsi pour la fabrication du sucre, et l'industrie agricole ne peut pas échapper à la loi commune.

» Or l'agriculture du département de l'Aisne est non seulement mal organisée, mais elle est désorganisée.

» Autrefois elle avait un personnel de fermiers assez riches et assez instruits pour faire la culture qui pouvait et devait être faite. Peu à peu ce personnel a diminué, et ce sont principalement les plus riches qui ont été porter ailleurs ou qui ont préparé leurs enfants à porter ailleurs les fortunes qu'ils avaient gagnées dans la culture. Quelle est l'industrie qui pourrait, sans s'affaiblir et peut-être sans succomber, être ainsi dépouillée de ses moyens de production? C'est, au contraire, une règle de bonne administration que les bénéfices faits pendant les périodes de prospérité doivent servir à perfectionner l'outillage et à former des réserves qui permettent de traverser avec moins de diffi-

culté les périodes de crise et de se relever ensuite plus puissant, au milieu de la concurrence affaiblie par cette crise même.

» Le régime fiscal de l'Allemagne a cherché à favoriser la production des betteraves riches en sucre et l'extraction aussi complète que possible de ce sucre. Nous avons bien fait de l'imiter. Mais ce régime aurait été impuissant pour l'Allemagne, si elle n'avait pas eu en même temps des agriculteurs et des fabricants très instruits en Chimie et en Mécanique.

» Or ces cultivateurs se forment dans les écoles supérieures annexées aux Universités, et ces ingénieurs dans des écoles spéciales de technologie. L'agriculture occupe également une large place dans l'enseignement secondaire et dans l'enseignement primaire de l'Allemagne.

» De plus, il y a beaucoup plus d'Allemands qui savent le français qu'il n'y a de Français qui savent l'allemand. En agriculture comme en industrie, etc., ils sont au courant de tout ce qui se fait chez nous, tandis que souvent, hélas! nous apprenons à connaître beaucoup trop tard ce qu'ils font chez eux.

» Il en est de même pour la concurrence des Américains; elle ne provient pas seulement des immenses étendues des terres vierges qu'ils ont dans les États de l'Ouest, mais de leur instruction essentiellement pratique et appropriée aux exigences de notre époque.

» L'instruction à tous les degrés a fait de grands progrès en France; mais il faut la compléter et la rendre productive, en dirigeant les intelligences qu'elle forme vers le développement de la richesse nationale. »

Tel est le but que j'ai poursuivi comme directeur de l'Institut agronomique.

4. Physiologie et culture du blé.

Se basant sur les conclusions de mon Rapport, MM. Hachette et C[ie] me demandèrent, comme œuvre d'utilité publique, de leur faire un petit Traité sur la *Culture du blé* où j'expliquerais par quels procédés on pourrait abaisser son prix de revient en France, et qui pût se vendre à très bon marché, afin de se répandre beaucoup dans

les campagnes. Malheureusement, pour obtenir ce bon marché, les éditeurs ont sacrifié la netteté de l'impression et fait beaucoup trop d'économies sur la gravure des figures.

Généralement on met, dans ces éditions à bon marché, des vieilleries reproduites en style plus ou moins populaire. Quant à moi, j'y ai vidé mon sac de notes encore inédites, fruit de bien des années d'observations. J'en ai extrait quelques-unes de celles qui concernent la physiologie de la plante et je les ai résumées tout à l'heure. J'ai intitulé mon petit traité *Physiologie et culture du blé*, précisément pour montrer que les perfectionnements de la pratique reposent sur les progrès de la science. Pour faire du blé, il faut savoir comment il vit. En peu d'années, mon livre a eu deux éditions françaises de 10000 exemplaires et il a été traduit dans la plupart des langues de l'Europe.

TABLE DES MATIÈRES.

25938 Paris. — Imprimerie Gauthier-Villars et fils, quai des Grands-Augustins, 55.